

Article, Published Version

Fuehrer, Manfred

Literatur

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106233>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Fuehrer, Manfred (1985): Literatur. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau 49. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 80-125.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



6. Literatur

- / 1 / GLAZIK, G.: Aktuelle Probleme der hydraulischen Forschung auf dem Gebiet des Verkehrswasserbaues und die Darstellung einschlägiger Forschungsarbeiten der FAS auf internationalen Kongressen. Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Wasser- und Grundbau, H. 43 (1981)
- / 2 / KUHN, R.: General Report S. I-3. The behaviour of waterway vessels and ocean going ships during transit overtaking and passing in canals and channels of limited width and depth, taking into account the increase of their size and speed. The means of prevention and protection. 24th International Navigation Congress, Leningrad 1977
- / 3 / HORN, F.: Theorie des Schiffes. in AUERBACH; HORT: Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik, Bd. V, Leipzig 1929
- / 4 / SCHUSTER, S.: Untersuchungen über Strömungs- und Widerstandsverhältnisse bei der Fahrt von Schiffen auf beschränktem Wasser. Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft (STG), 46 (1952)
- / 5 / HENSCHKE, W.: Schiffbautechnisches Handbuch. 2. Aufl., Bd. 2, Berlin 1957
- / 6 / SCHLICHTING, O.; STROHBUSCH: Schiffswiderstand auf beschränkter Wassertiefe. Jahrbuch STG, 33 (1932)
- / 7 / GRAFF, W.: Die Bestimmung des Flachwasserwiderstandes aus dem Widerstand auf tiefem Wasser. Erörterungsbeitrag zu HELM, K.: Tiefen- und Breiten- einflüsse von Kanälen auf den Schiffswiderstand. In: Hydromechanische Probleme des Schiffsantriebs, Teil II (Hrsg. KEMPF, G.), München, Berlin 1940
- / 8 / KREY, H.: Fahrt der Schiffe auf beschränktem Wasser. Veränderter Sonderdruck aus der Zeitschrift "Schiffbau" (1913) 12-17
- / 9 / KREITNER, J.: Über den Schiffswiderstand auf beschränktem Wasser. Werft - Reederei - Hafen, 15 (1934) 7
- / 10 / HERNER, K.; RUSCH, K.: Die Theorie des Schiffes. 6. Aufl., Leipzig 1952

- / 11 / JANSEN, P. Ph.; SCHIJF, J. E.: The relation between on the one hand, the form of cross-section, the method of revetment and the distribution of the water velocities in a waterway and on the other hand, the resistance to movement, the efficiency of the screw (propeller) and the permissible speeds of the maintenance of the waterway.
18th International Navigation Congress, Rom 1953
- / 12 / GLAZIK, G.: Theoretische und modellmäßige Untersuchungen über die Wechselbeziehungen zwischen Seeschiff und Seekanal.
Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Wasser- und Grundbau, H. 2 (1962)
- / 13 / HOFFMANN, R.: Die hydraulischen Grundlagen für die Bemessung und Gestaltung von Schifffahrtskanälen.
Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen, 9 (1961/62) 2
- / 14 / GRAEWE, H.: Der zweckmäßigste Querschnitt von Binnenschifffahrtskanälen der Wasserstraßenklasse IV.
Dissertation, TH Aachen 1967
- / 15 / KOLKMANN, P. A.: Ships meeting and generating currents. Delft Hydraulics Laboratory, Publication no. 215 (1979)
- / 16 / SUCHOMEL, G. J.; SASS, W. M.; JANKOWSKI, L. J.: Untersuchung der Schiffsbewegung auf begrenztem Fahrwasser. (russ.)
Veröffentlichung der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, Kiew 1956
- / 17 / FUEHRER, M.: Die Verteilung der Verdrängungsströmung bei der Kanalfahrt von Schiffen und eine neue Methode zur Ermittlung des örtlichen Strömungsverlaufs.
Unveröffentlichtes Manuskript, Berlin 1968
- / 18 / ENGEL, E.: Einschränkungen bei der Anwendung der Ähnlichkeitsgesetze in den Gebieten der laminaren, turbulenten und schießenden Strömung.
Zeitschrift für Schiffbau, 35 (1934) 1
- / 19 / MÜLLER, O.: Aus dem Grenzgebiet des wasser- und schiffbaulichen Modellversuchswesens.
Zeitschrift für Schiffbau, 39 (1938)
- / 20 / HELM, K.: Grenzgeschwindigkeit für den Schleppzug auf dem Kanal.
Jahrbuch STG, 39 (1938)

- / 21 / HELM, K.: Tiefen- und Breitereinflüsse von Kanälen auf den Schiffswiderstand. Hydromechanische Probleme des Schiffsantriebs, Teil I (Hrsg. KEMPF, G.), München, Berlin 1940
- / 22 / HELM, K.; WÖLTINGER, O.: Untersuchung der Beziehungen zwischen einerseits der Querschnittsgestalt, der Bodenbeschaffenheit, der Art der Auskleidung und der Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten in einem Wasserlauf und andererseits dem Fahrwiderstand, dem Wirkungsgrad der Schrauben und den zulässigen Geschwindigkeiten der Schiffe in Bezug auf die Unterhaltungskosten des Wasserlaufs. Deutsche Berichte zum XVIII. Internationalen Schiffahrtskongreß Rom 1953, Bonn 1953
- / 23 / HELM, K.; MÖCKEL, W.; WÖLTINGER, O.: Über die gegenseitige Beeinflussung von Schiffen und Kanälen. Mitteilungen der Kammerverschen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau, Franzius-Institut der TH Hannover, H. 4 (1953)
- / 24 / HELM, K.: Einfluß der verschiedenen Flachwasserprofile auf Widerstand und Vortrieb von Binnenschiffen mit Rechnungsbeispielen für die Binnenwasserstraße der Klasse IV. Hansa, 102 (1965) 11, 12
- / 25 / FUEHRER, M.: Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Wellen in Abhängigkeit vom Kanalprofil. Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schiffahrt, Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Wasser- und Grundbau, H. 4 (1962)
- / 26 / FUEHRER, M.: Strömungsverhältnisse in Kanälen und Schleusenvorhöfen. Unveröffentlichter Forschungsbericht der FAS, Berlin 1966
- / 27 / FUEHRER, M.: Umströmung eines Selbstfahrers im Flachwasser. Unveröffentlichter Forschungsbericht der FAS, Berlin 1968
- / 28 / RÖMISCH, K.: Berechnungsverfahren zur praktischen Ermittlung der in einem Kanal durch ein fahrendes Schiff hervorgerufenen maximalen Wasserspiegelschwankungen. Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schiffahrt, Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Wasser- und Grundbau, H. 23 (1969)
- / 29 / FUEHRER, M.; RÖMISCH, K.: Effects of modern ship traffic on inland- and ocean-waterways and their structures. Paper S. I-3, 24th International Navigation Congress. Leningrad 1977

- / 30 / RAMACHER, H.; PLATE, U.: Die Sicherung des Nord-Ostsee-Kanals.
Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft (HTG), 30/31 (1966/68)
- / 31 / FLÜGEL, H.: Bauliche Maßnahmen für die Verkehrssicherheit des Nord-Ostsee-Kanals.
Schiff und Hafen, 22 (1970) 6
- / 32 / PLATE, U.; KEIL, G. W.: Sedimenttransport in einem Seeschiffahrtskanal.
Die Küste, 21 (1970)
- / 33 / FLÜGEL, H.: Das Programm zur Sicherung des Nord-Ostsee-Kanals. 1. Teil - Seine technischen Grundlagen.
Der Bauingenieur, 47 (1972) 6
- / 34 / MEIER, H.: Der Ausbau des Mittellandkanals.
Hansa, 110 (1973) 3
- / 35 / SCHRÖDER, H. T.; HOFMANN, W.: Beanspruchung der Böschung eines Schiffahrtskanals.
Schiff und Hafen, 20 (1968) 9
- / 36 / SCHÄLE, E.: Strömungsmessungen in einem Stillwasserkanal trapezförmigen Querschnitts, ausgeführt mit dem Schiffstyp "Johann Welker" und zwei Schubverbänden in der Haltung Bamberg des neuen Main-Donau-Kanals.
Schiff und Hafen, 20 (1968) 5
- / 37 / SCHÄLE, E.: Wellen- und Strömungsbilder im Main-Donau-Kanal.
Schiff und Hafen, 23 (1971) 9
- / 38 / SCHÄLE, E.: Böschungsströmung und Schiffsansenkung.
Schiff und Hafen, 26 (1974) 1
- / 39 / FELKEL, K.; STEINWELLER, H.: Druck und Strömung unter im Kanal fahrenden Schiffen, Kriegsbrunner Messungen.
Schiff und Hafen, 25 (1973) 8
- / 40 / BINEK, H.: Einzelfahrten von Schubverbänden in Schiffahrtskanälen.
Hansa, 113 (1976) 8
- / 41 / BALLIN, C.-W.; BRANDENBURG, W.; FELKEL, K.; HAGER, M.; MASSON; MÜLLER, E.; OEBIUS; SCHALE, E.; WETZEL, V.: Paper S. I-3, 24th International Navigation Congress, Leningrad 1977

- / 42 / MARCHAL, J.; SPRONCK, R.: Comportement des bateaux et convois pousses, lors du passage, du passément (trematage) ou du croisement dans un canal rectilique.
Paper S. I-3, 24th International Navigation Congress, Leningrad 1977
- / 43 / GELENCSEER, G. J.: Drawdown surge and slope protection; experimental results.
Paper S. I-3, 24th International Navigation Congress, Leningrad 1977
- / 44 / TENAUD, R.: Essais sur modeles reduits et modele mathematique pour l'etude du passage des convois pousses dans un canal et des defenses de berges.
Paper S. I-3, 24th International Navigation Congress, Leningrad 1977
- / 45 / BOUWMEESTER, J.; KAA, E. J. van de; NUHOFF, H. A.; ORDEN, R. G. J. van: Paper S. I-3, 24 th International Navigation Congress, Leningrad 1977
- / 46 / KUNZ, H.: Schiffsschwall und Sunk in seitlich einer Wasserstraße angeordneten Becken.
Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der TH Hannover, H. 46 (1977)
- / 47 / STURTZEL, W.; GRAFF, W.; MÜLLER, E.: Untersuchung der Verformung der Wasseroberfläche durch die Verdrängungsströmung bei der Fahrt eines Schiffes auf seitlich beschränktem flachen Wasser.
Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Köln, H. 1725 (1966)
- / 48 / NORRBIN, N. N.: Manoeuvring in confined waters: Interaction phenomena due to side banks or other ships.
14th International Towing Tank Conference 1975
Report of Manoeuvrability Committee, Appendix VIII
- / 49 / BALANIN, V.; ZERNOV, D.; KIRJAKOW, S.; METELETSINA, G.; POLUNIN, A.; SCHEGOLEV, V.: Peculiarities of navigation on canals and restricted channels, originating hydraulic phenomena and their effect on the canal bed; measures preventing slope deterioration.
Paper S. I-3, 24th International Navigation Congress, Leningrad 1977
- / 50 / FUJII, Y.; YAMANOUCHI, H.; TANAKA, K.; YAMADA, K.; OKUYAMA, Y.; HIRANO, S.: The behaviour of ships in limited waters.
The effective domains and their hard cores as function of size and other factors.
Paper S. I-3, 24th International Navigation Congress, Leningrad 1977

- / 51 / GATES, E. T.; HERBICH, J. B.: Mathematical models for design, operation and economic analysis of deep-draft navigation channels. Paper S. I-3, 24th International Navigation Congress, Leningrad 1977
- / 52 / TUCK, E. O.: Sinkage and trim in shallow water of finite width. Schiffstechnik, 14 (1967) 14
- / 53 / CONSTANTINE, T.: On the movement of ship in restricted waterways. Journal of Fluid Mechanics, 9 (1960) 2
- / 54 / TUCK, E. O.: Shallow water flows past slender bodies. Journal of Fluid Mechanics, 26 (1966) 1
- / 55 / BARRASS, S. E.: A unified approach to "squat" calculations for ships. Bulletin of the PIANC, 32 (1979) I
- / 56 / VOROBYEV, J. L.; GULIEV, J. M.; LABAZNIKOW, V. K.; ELIS, J. M.: Untersuchungen der Tiefgangsveränderungen von Seeschiffsmodellen bei der Fahrt im Flachwasser und auf Kanälen (russ.). Sudostroenie i Sodoremont, Odessa 1967
- / 57 / GULLIEV, J. M.; VOROBYEV, J. L.: Determination of the safety dimensions of the cross-sections in maritime approach channels. Paper S. I-3, 23th International Navigation Congress, Ottawa 1973
- / 58 / RÖMISCH, K.: Erreichbare Fahrgeschwindigkeit und Tauchung eines Schiffes auf flachem Wasser - ein Beitrag zur Bemessung von Binnen- und Seewasserstraßen. Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Wasser- und Grundbau, H. 24 (1969)
- / 59 / FUEHRER, M.: Der Einfluß der örtlichen Strömungsverhältnisse in der Umgebung des Schiffes auf die Wechselbeziehungen zwischen Schiff und Kanal. Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Wasser- und Grundbau, H. 11 (1964)
- / 60 / SCHÖNKNECHT, R.: Einfluß der Fahrgeschwindigkeitswahl auf den Betrieb der Binnenschiffe. Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Schifffahrt, H. 12 (1968)

- / 61 / GRAEWE, M.: Untersuchung über den wirtschaftlichen Einsatz von Motorgüterschiffen auf einem Großschiffahrtskanal.
Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 30 (1969)
- / 62 / GRAEWE, H.: La resistance a l'avancement des bateaux qui naviguent sur les canaux.
Bulletin of the PIANC, (1970) 4/II
- / 63 / SCHOKLITSCH, A.: Handbuch des Wasserbaus.
Bd. 2., 2. Aufl., Wien 1952
- / 64 / RÖMISCH, K.: Schiffswiderstand und Rauzigkeit der Flußsohle.
Unveröffentlichter Forschungsbericht der FAS, Berlin 1968
- / 65 / FUEHRER, M.: Widerstandsbeeinflussung von Schubverbänden durch Querschnitts- und Rauigkeitsparameter (A1).
Unveröffentlichter Forschungsbericht des VEB FAS, Berlin 1983
- / 66 / KRACHT, A.: Untersuchungen über die zweckmäßige Ausbildung der Hinterschiffsform von Binnenschiffen.
Hansa, 107 (1970) 23
- / 67 / RÖMISCH, K.: Contribution to a determination of the required canal width.
Paper 25, Symposium "Aspects of navigability of constraint waterways including harbour entrances, Vol. 5, Delft 1978
RÖMISCH, K.: Beitrag zur Bestimmung der erforderlichen Kanalbreite.
Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Wasser- und Grundbau, H. 43 (1981)
- / 68 / RÖMISCH, K.: Erforderliche Manövrierbreite von Tankern und Massengutfrachtern im begrenzten Fahrwasser.
Wissenschaftliche Beiträge, IHS Warnemünde/Wustrow, 8 (1981) 1
- / 69 / OLTSMANN, P.: Methoden der Vorausberechnung von Schiffsmanövern.
Schiff und Hafen, 25 (1974) 7
- / 70 / NORRIBIN, N. H.: Manoeuvring in confined waters: Interaction phenomena due to side banks or other ships.
14th International Towing Tank Conference (ITTC) 1975, Report of the manoeuvrability Committee

- / 71 / BECK, R. F.: Forces and moments on a ship moving
in a shallow channel.
Journal of Ship Research, 21 (1977) 2
- / 72 / NORRBIN, N. H.: A method for the prediction of
the manoeuvring lane of ship in a channel of
varying width.
Paper 22, Symposium "Aspects of navigability of
constraint waterways including harbour entrances",
Vol. 3, Delft 1978
- / 73 / NEWMAN, J. N.: Some theories for ship manoeuvring.
Proceedings, International symposium on direction-
al stability and control of bodies moving in
water.
Journal of Mechanical Engineering Science,
14 (1972) 7
- / 74 / KREY, C. J.: Layout and design of channels and
manoeuvring areas.
Bulletin of the IANAC, (1975) 21
- / 75 / RÖMISCH, K.; FUEHRER, M.: Tiefgangsreserve in See-
kanälen (Ergebnisbericht).
Unveröffentlichter Forschungsbericht der FAS,
Berlin 1976
- / 76 / FUEHRER, M.: Steuerfähigkeit im begrenzten Fahr-
wasser (Vorbereitungsstufe).
Unveröffentlichter Forschungsbericht der FAS,
Berlin 1980
- / 77 / FUEHRER, M.; SCHOLZ, H.-P.: Steuerfähigkeit im
begrenzten Fahrwasser (Ergebnisbericht).
Unveröffentlichter Forschungsbericht des VEB FAS,
Berlin 1982
- / 78 / FUEHRER, M.: The results of systematic investiga-
tions into lateral forces for determining the
effects of hydraulic asymmetry and eccentricity
on the navigation of sea-going ships in canals.
Paper 10, Symposium "Aspects of navigability on
constraint waterways including harbour entrances",
Vol. 2, Delft 1978

FUEHRER, M.: Ergebnisse systematischer Querkraft-
untersuchungen zur Erfassung hydraulischer Unsymme-
trie- und Außermittigkeitseffekte auf die Fahrt von
Seeschiffen in Kanälen.
Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt,
Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Was-
ser- und Grundbau, H. 43 (1981)

- / 79 / FUEHRER, M.: Einfluß hydraulischer Unsymmetrie- und Außermittigkeitseffekte auf das Manövrierverhalten von Seeschiffen im begrenzten Fahrwasser. Wissenschaftliche Beiträge, IHS Warnemünde/Wustrow, 8 (1981) 1
- / 80 / FUEHRER, M.; RÖMISCH, K.: The effects of hydrodynamical forces on ships navigating through canals. Bulletin of the IANC, 57 (1982/83) 43
- / 81 / MÜLLER, S.: Untersuchungen über die gegenseitige Kursbeeinflussung von Schiffen auf Binnenwasserstraßen. Schiff und Hafen, 19 (1967) 6
- / 82 / SCHÄLE, E.: Manövrierversuche auf gerader und gekrümmter Strecke des neuen Main-Donau-Kanals, ausgeführt mit dem Schiffstyp "Johann Welker" und mehreren Schubverbänden in den Haltungen Bamberg und Strullendorf. Schiff und Hafen, 20 (1968) 6
- / 83 / SCHÄLE, E.: Nautische Untersuchungen zur Förderung des vorfristigen Verkehrs mit großen nautischen Einheiten auf dem Wesel-Datteln-Kanal (Friedrichsfeld-Dortmund). Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Opladen Nr. 3040 (1981)
- / 84 / ROBAKIEWICZ, W.: Wplyw dzialania strumienia zasrubowego na duo nabrzezu stanowiska prob na uwiezi, na przykladzie badem modelowych i terenowych z trawlerem B - 20. Rozprawy Hydrotechniczne, H. 19 (1966)
- / 85 / ROBAKIEWICZ, W.: Teorie i badania hydrauliczne stosowane przy analizie zjawiska strumienia zasrubowego. Rozprawy Hydrotechniczne, H. 19 (1966)
- / 86 / RÖMISCH, K.; FUEHRER, M.: Wirkung des Propellerstrahls auf Sohle und Böschung. Unveröffentlichter Forschungsbericht der FAS, Berlin 1972
- / 87 / RÖMISCH, K.; FUEHRER, M.: Erosionserscheinungen bei Schiffsmanövern. Unveröffentlichter Forschungsbericht der FAS, Berlin 1974
- / 88 / RÖMISCH, K.: Der Propellerstrahl als erodierendes Element bei An- und Ablegemanövern in Hafenbecken. Seewirtschaft, 7 (1975) 7

- / 89 / BLAAUW, H. G.; KAA, J. E. van de: Erosion of bottom caused by the screw race of manoeuvring ships.
Delft Hydraulics Laboratory, Publication no. 202 (1977)
- / 90 / FUEHRER, M.; RÖMISCH, K.; ENGELKE, G.: Criteria for dimensioning the bottom and slope protections and for applying the new methods of protecting navigation canals.
Paper S. I-1, 25th International Navigation Congress, Edinburgh 1981
- / 91 / BERGH, H.: Inverkan på kammanläggningar av propellerströmmar.
Hydraulics Laboratory, Royal Institute of Technology Stockholm, Bulletin No. TRITA-VBI-104 (1981)
- / 92 / KRAATZ, W.: Der Tauchstrahl im begrenzten Raum einer Toskammer.
Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden, 12 (1973) 6
- / 93 / BERGH, H.; CEDERWALL, K.: Propeller erosion in harbours.
Paper S. I-1, 25th International Navigation Congress, Edinburgh 1981
- / 94 / RÖMISCH, K.; FUEHRER, M.: Beanspruchung von Schifffahrtskanälen.
Unveröffentlichter Forschungsbericht der FAS, Berlin 1978
- / 95 / KREY, H.: Modellversuche über den Schifffahrtsbetrieb auf Kanälen und die dabei auftretende Wechselwirkung zwischen Kanalschiff und Kanalquerschnitt.
Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Ingenieurwesens, H. 107, Berlin 1911
- / 96 / SHIELDS, A.: Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulanzforschung auf die Geschiebebewegung.
Mitteilungen der Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, H. 26, Berlin 1926
- / 97 / BOGARDI, J.: Bestimmung der Grenzzustände bei der Geschiebebewegung.
Die Wasserwirtschaft, 58 (1968) 7
- / 98 / MIRZULAWA, A.: Erosion von Flüssen und Methoden zur Abschätzung ihrer Stabilität (russ.).
Kolos-Verl., Moskau 1967
- / 99 / OEBIUS, H.: Zur Frage der Beschädigung der Fluß- und Kanalsohle durch die Schifffahrt.
Zeitschrift für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen, 98 (1971) 5

- / 100 / PIOREWICZ, J.: Mosliwosci prowadzenia startow manowowrych duzych statkow przy nabrzezach. Technika i Gospodarska Morska, (1976) 4
- / 101 / FELKEL, K.; STEINWELLER, H.: Natur- und Modellversuche über die Wirkung der Schiffe auf Flußsohlen aus Grobkies (Breisacher Versuche). Wasserwirtschaft, 62 (1972) 8
- / 102 / FELKEL, K.: Deformation du fond mobile d'un flueve per l'action simultanee du debit et des bateaux. Paper A 11, 15th IAHR-Congress, Istambul 1973
- / 103 / FELKEL, K.: Modellversuche über die Auswirkungen der Leistungssteigerung der Schubboote auf die Stromsohle. Wasserwirtschaft, 65 (1975) 12
- / 104 / SCHÄLE, E.: Beanspruchung und Veränderung der Fahrwasserbegrenzung durch die Schifffahrt. Schiff und Hafen, 26 (1974) 1
- / 105 / ZERNOV, D.: Hydraulische Vorgänge und ihr Einfluß auf die Stabilität von Kanalbetten bei der Fahrt großer Schiffe (russ.). Trudy ZNIIET, H. 39, Moskau 1965
- / 106 / GRÜNBAK, R.: Hydraulic and friction parameters affecting the stability of rubble mounts. Bulletin of the PIANC, 50 (1976) 24
- / 107 / POSEY: Permanent erosion protection for inland waterways. Bulletin of the PIANC, 52 (1978) 30
- / 108 / KUHN, R.: Dichtung und Deckwerk von Binnenschiffahrtskanälen. Der Bauingenieur, 44 (1969) 9
- / 109 / GLAZIK, G.: Hydraulische Gesichtspunkte bei der Wahl von Uferbefestigungen für Binnenwasserstraßen. Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Wasser- und Grundbau, H. 11 (1964)
- / 110 / LACKNER, E.: Technischer Arbeitsbericht 1976 des Arbeitsausschusses Uferneinbauten. Die Bautechnik, 53 (1976) 12
- / 111 / WAGNER, H.: Vorhersage der durch Welleneinwirkung hervorgerufenen Uferumbildungen. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 20 (1970) 10

- / 112 / APEL, E.; BÜRGER, W.; WAGNER, H.: Untersuchungen
über die Umbildung ungeschützter Ufer bei Wellen-
angriff.
Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt,
Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Was-
ser- und Grundbau, H. 34 (1975)
- / 113 / WAGNER, H.: Die Wellenbewegung als Belastungsgröße
für die Böschungen von wasserwirtschaftlich ge-
nutzten Tagebaurestlöchern.
Neue Bergbautechnik, 7 (1977) 2
- / 114 / Hinweise für die Projektierung und den Betrieb von
steinernen Böschungsbefestigungen der Erdstaudämme
und Schifffahrtskanäle (russ.).
Ministerium der Binnenflotte der RSFSR, Zentrales
Wissenschaftliches Forschungsinstitut für Ökono-
mie und Betrieb des Wassertransportwesens (ZNIIEWT),
Moskau 1955
- / 115 / Technische Bedingungen zur Bestimmung des Wellen-
einflusses auf See- und Flußbauwerke und Ufer
(russ.).
Staatliches Komitee für Bauwesen des Ministerrates
der UdSSR, Bau-Norm 92-60, Moskau 1960
- / 116 / Handbuch zur Bestimmung der Belastungen und Auswir-
kungen auf hydrotechnische Anlagen (durch Wellen,
Eis und vom Schiff). (russ.)
WNIIG, Leningrad 1977
- / 117 / FUEHRER, M.; RÖMISCH, K.: Dimensionierung von
Sohlen- und Böschungsbefestigungen an Schifffahrts-
kanälen.
Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt,
Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe Was-
ser- und Grundbau (Drucklegung in Vorbereitung)
- / 118 / FUEHRER, M.; HENNERSDORF, E.: Beanspruchung der
Wasserstraßen beim Richtungsverkehr.
Unveröffentlichter Forschungsbericht des VEB FAS,
Berlin 1982
- / 119 / Proceedings of the Technical Sessions, S. I-1.
25th International Navigation Congress, Edinburgh
1981
- / 120 / HAGER, M.; DENKER, M.: XXV. Internationaler
Schifffahrtskongreß Edinburgh 1981
Hansa, 119 (1982) 1/2
Die Bautechnik, 59 (1982) 3

- / 121 / SOMMER, K.: Erhaltung der Binnenwasserstraßen -
wichtige Voraussetzung für die Leistungssteigerung
in der Binnenschifffahrt.
Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 32 (1982) 12

- / 122 / HEUSER, H.: Energieeinsparung bleibt vorrangiges
Forschungsthema für die Binnenschifffahrt.
Internationales Verkehrswesen, 35 (1983) 4

- / 123 / GLAZIK, G.: Erschließung von Reserven für die
Leistungssteigerung der Binnenschifffahrt durch
stärkere Nutzung neuer hydromechanischer Erkennt-
nisse.
Wissenschaftliche Konferenz "Binnenschifffahrt
und Wasserstraßen" am 30.06.1983 im VEB FAS, Berlin

- / 124 / FUEHRER, M.: Konzipierung des F/E-Gebietes "Hydrau-
lische Erscheinungen bei der Kanalfahrt von
Schiffen".
Unveröffentlichter Forschungsbericht des VEB FAS,
Berlin 1982

Anhang I

Strömungs- und Durchflußregime bei der Kanalfahrt von Schiffen im Bereich der kritischen Geschwindigkeit

I.1. Systematisierung bisheriger Untersuchungsergebnisse zur kritischen Geschwindigkeitsgrenze der Kanalfahrt

Die kritische Geschwindigkeitsgrenze der Kanalfahrt stellt die wichtigste hydrodynamische Bezugsgröße für die physikalische Erklärung der bei unterschiedlicher Fahrwasserquerschnittsgröße und -geometrie auftretenden Tiefen- und Breitenbeeinflüsse des Kanaleffektes dar. Ihre exakte Definition ist von grundlegender Bedeutung für die Weiterentwicklung sowohl der experimentell erweiterten eindimensionalen als auch der dreidimensionalen Theorie des Kanalproblems und identisch mit der von KREITNER / 9 / geforderten Ermittlung des "wirksamen" Kanalquerschnitts der Kanalfahrt (s. Abschnitt 3.1.2.2.1. und 3.1.2.2.2.).

Der zur Erfassung der kritischen Geschwindigkeitsgrenze als Ergebnis einer Vielzahl von Untersuchungen vorliegende Erkenntnisstand läßt sich wie folgt systematisieren:

1. Begründungen der Vorverlegung der kritischen Geschwindigkeitsschranke durch Geometrieeffekte.

Die im allseitig beschränkten Fahrwasser als Folge der Breitenbegrenzung entstehende Reduzierung der kritischen Geschwindigkeit $V_{kr} = \sqrt{g \cdot h_m}$ wird hiernach, ausgehend von einer unter Bezug auf / I.1 / für offene Gerinne zulässigen Substitution, durch Einführung des hydraulischen Radius $R = A/U$ (A -Kanalquerschnitt, U -benetzter Umfang) anstelle der mittleren Wassertiefe $h_m = A/b_{ws}$ (b_{ws} - Wasserspiegelbreite) zur Berücksichtigung von Profileinflüssen im Stauwellengeschwindigkeitsansatz begründet. Es ergeben sich Beziehungen des Typs

$$V_{kr} = \sqrt{g \cdot R} < \sqrt{g \cdot h_m} \quad (I.1)$$

(g - Schwerkerebeschleunigung), in denen der Ansatz des hydraulischen Radius in Abhängigkeit vom Grad der Fahrwasserbeschränkung in sehr unterschiedlicher Weise gehandhabt wird. So gilt beispielsweise gemäß / 21 / / I.2 / Gleichung (I.1) mit $R_I = A/U$ lediglich im Tiefgangverhältnissbereich $h/T \geq 2$, während bei geringeren Wassertiefen und kleinen Kanalbreiten im hydraulischen Radius $R_{II} = (A - A_M)/(U + U_M)$ zusätzlich der eintauchende Hauptspantquerschnitt A_M und benetzte Hauptspantumfang U_M des Schiffes sowie bei Profilvergleichen mit $R_{III} = (A - A_M - b \cdot \Delta h)/U$ der engste Durchflußquerschnitt (h - maximale Niveaubabsenkung) berücksichtigt werden. Weitere Modifizierungen liegen in Form einer in Analogie zu Venturikanaluntersuchungen unter Verdoppelung des Breiteninflusses vorgenommenen Umwandlung des Ausdrucks (I.1) in eine BOUSSINESQzahl der Kanalfahrt vor / 18 / / 19 /.

Über den Weg der Einführung einer formabhängigen FROUDEschen Zahl findet, wie aus den o. g. Zusammenhängen hervorgeht, eine undurchsichtige Vermischung von Tiefen- und Breiteninflüssen statt. Da außerdem die dieser Betrachtungsweise zugrundeliegende Voraussetzung ($\sqrt{g \cdot h_m} \approx \sqrt{g \cdot R}$) nur für sehr breite Gerinne gilt, können sich aus ihr keine Fortschritte zum Ausbau der Theorie des Kanaleffektes ergeben.

2. Ableitung der kritischen Geschwindigkeitsschranke aus dem Fließzustand der Freispiegelströmung im Teildurchflußquerschnitt neben dem Schiff.

Die theoretische Geschwindigkeitsgrenze (7) beschreibt entsprechend den vereinfachenden Annahmen der eindimensionalen Behandlung der Kanalfahrt (s. 3.1.2.2.1.) das Erreichen des Grenzwertes

$$V_{kr} = K \cdot \sqrt{g \cdot h_m} \quad (I.2)$$

($K = f(n) < 1$) für einen mittleren Strömungszustand der Verdrängungsströmung im freibleibenden Gesamtquerschnitt im Bereich des Schiffes, wobei allgemein das Erreichen der kritischen FROUDEschen Tiefenzahl $Fr_h = (V + V_R) / \sqrt{g \cdot h_m}$ (s. Abb. 3) im als Freispiegelströmung modellierenden Teilquerschnitt neben dem Schiff vorausgesetzt wird. Systematische in / 4 / unter Außerachtlassung des dynamischen Tauchungsverhaltens (Squat) an in der Höhenlage fixierten Modellen angestellte Untersuchungen zur Ausbildung des Wellensystems im Flachwasser und bei der Kanalfahrt bestätigten diese Zusammenhänge. Das Erreichen der Durchlaßfähigkeit im Zustand "Strömen" bzw. der Beginn des Aufbaus des für den Umschlag des Fließzustandes im gesamten Durchflußquerschnitt erforderlichen kritischen Gefälles wird danach zuerst unmittelbar neben dem Schiff ausgewiesen.

Der Einfluß des Tauchungsverhaltens des Schiffes auf die Ausbildung der Strömungsverhältnisse im schiffsnahen Bereich des Freispiegeldurchflusses darf nach in Weiterverfolgung des in / 9 / und / 4 / eingeschlagenen Lösungsweges erhaltenen Aussagen zur Ausbildung des dreidimensionalen Strömungsfeldes bei der Kanalfahrt aus eigenen Unter-

suchungen / 26 / 27 /

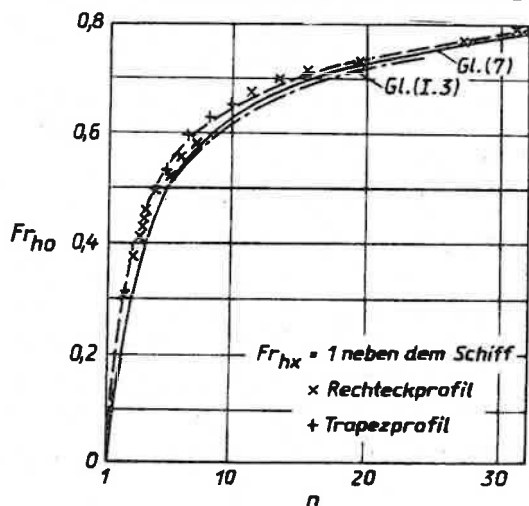


Abb. I.1:
Kritische
Geschwindigkeitsgrenze
der Kanalfahrt

/ 59 / nicht vernachlässigt werden. Die in Abb. I.1 dargestellte, aus der Analyse der örtlichen FROUDEschen Tiefenzahlen am Schiff $Fr_{hx} = (V + V_{Rx}) / \sqrt{g \cdot h_x} = f(V)$ (h_x , V_{Rx} - örtliche Wassertiefe und Rückstromgeschwindigkeit) in unterschiedlichen Kanalprofilen für den Grenzzustand $Fr_{hx} = 1$ abgeleitete Beziehung $K_x = Fr_{hx} / \sqrt{g \cdot h_m} = f(n)$ zeigt gegenüber den theoretischen Werten $K = f(n)$ gemäß Gleichung (7) eine Verschiebung zu einem späteren Erreichen der kritischen Geschwindigkeit. Das bedeutet, daß die Leistungsfähigkeit des Durchflußquerschnittes neben dem Schiff größer ist, als nach der theoretischen Betrachtung des Durchflußgeschehens im Gesamtquerschnitt ausgewiesen. Der wesentliche Grund hierfür liegt in der bei der Ableitung der Beziehung (7) der Niveauabsenkung Δh entsprechend angenommenen, tatsächlich jedoch geringeren, dynamischen Tauchung ΔT des Schiffes.

3. Ableitung der kritischen Geschwindigkeitsgrenze aus dem Tauchungsverhalten des Schiffes.

Als Kriterium für Beurteilung der kritischen Geschwindigkeit kann das Tauchungsverhalten des Schiffes herangezogen werden / 28 / / 58 /. Äußeres Zeichen für das Erreichen von V_{kr} ist die in der Tauchungscharakteristik zu verzeichnende plötzliche Umkehr der Bugtauchung $\Delta T_B = f(V)$ zu mit weiter steigender Geschwindigkeit abnehmenden Tauchungswerten bis zu ggf. positiven ΔT_B - Werten (Aus-tauchung) und das mit der Überschreitung der Wendestelle einsetzende rapide Anwachsen der Hecktauchung $\Delta T_H = f(V)$.

Auf dieser Basis durchgeführte Auswertungen umfangreicher experimenteller Untersuchungen / 28 / / 58 / haben für Querschnittsverhältnisse $n < 6$ eine Bestätigung der theoretischen Funktion $K = f(n)$ nach Gleichung 7 nachgewiesen. In größeren Kanalquerschnitten wurden dagegen niedrigere K-Werte erhalten. Sie werden mit Hilfe der zum Vergleich in Abb. I.1 eingetragenen empirischen Ausgleichskurve

$$K_{\Delta T} = \frac{Fr_h \Delta T}{\sqrt{g \cdot h}} = \left[\frac{1}{80} \left(\frac{h}{T} \cdot \frac{L}{B} \right) \right]^{\beta} \quad (I.3)$$

mit

$$\beta = 0,24 \left(\frac{L}{b_r} \right)^{0,55} \quad (I.4)$$

in Abhängigkeit vom Tiefgangsverhältnis h/T , Längen-/Breitenverhältnis und Verhältnis von Schiffslänge zu "rechnerischer" Kanalbreite L/b_r (b_r - Breite eines mit der Wassertiefe h in ein Profil eingeschriebenen "rechnerischen" Kanalprofils) beschrieben.

Von den behandelten Ansätzen sind für die weitere Entwicklung lediglich die auf der hydrodynamischen Betrachtungsweise des Strömungszustandes der Verdrängungsströmung bzw. des Verhaltens des Schiffes ausgehenden interessant. Sie weisen - bei grundsätzlicher Übereinstimmung mit den theoretischen Tendenzen (vergl. Abb. I.1) - Abweichungen auf, die der weiteren Aufklärung bedürfen.

I.2. Austauschvorgänge zwischen den Durchflußquerschnitten unter und neben dem Schiff

Untersuchungen des Regimes der Verdrängungsströmung im engsten Durchflußquerschnitt belegen, daß die Rückstromverteilung im als "wirksam" bezüglich der charakteristischen Erscheinungen des Kanaleffektes erkannten schiffsnahen Bereich durch ein zunächst über die Wassertiefe nahezu gleichmäßiges Profil gekennzeichnet ist. Mit der Annäherung der Schiffsgeschwindigkeit an die kritische Geschwindigkeitsgrenze treten, wie der in Abb. I.2 gezeigten charakteristischen Entwicklung der vertikalen Geschwindigkeitsverteilung zu entnehmen ist, beiderseits des Schiffes merkliche Rückstromkonzentrationen auf. Sie sind in Übereinstimmung mit den zur Leistungsfähigkeit der Teildurchflußquerschnitte behandelten Zusammenhängen auf das

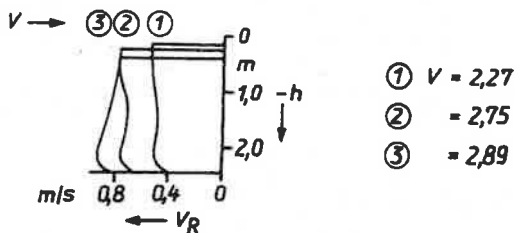


Abb. I.2: Vertikale Rückstromverteilung
neben dem Schiff

frühere Erreichen der Leistungsfähigkeitsgrenze des Querschnittes unter dem Schiffsboden und ein seitliches Ausweichen des nicht mehr abführbaren Wassers in den Durchflußquerschnitt neben dem Schiff zurückzuführen. In den über der Sohle induzierten Geschwindigkeitskonzentrationen treten die in der Verdrängungsströmung überhaupt möglichen Maxima auf.

Bei außermittiger Fahrweise bzw. unsymmetrischen Fahrwasserverhältnissen sind erhebliche Verstärkungen der o. g. Effekte möglich. Sie gewinnen unter diesen Bedingungen erheblichen Einfluß auf das fahrdynamische Verhalten.

I.3. Durchflußbilanz für den Abfluß unter dem Schiff

Die anhand der Entwicklung der örtlichen Rückstromverteilung am Schiff umrissenen qualitativen Beziehungen lassen sich auf der Grundlage der Analyse der Aufstellung der Durchflußbilanz für den Teilabfluß unter dem Schiff quantitativ belegen.

Hierzu ist in Abb. I.3 - ausgehend von in Kanälen unterschiedlicher Querschnittsgröße und -form vorliegenden Ergebnissen von Rückstrom- und Tauchungsmessungen - das Verhältnis der unter dem Schiffsboden abfließenden Verdrängungsströmung (Index B) zu dem über die Schiffsbreite zuströmenden Gesamtzufluß

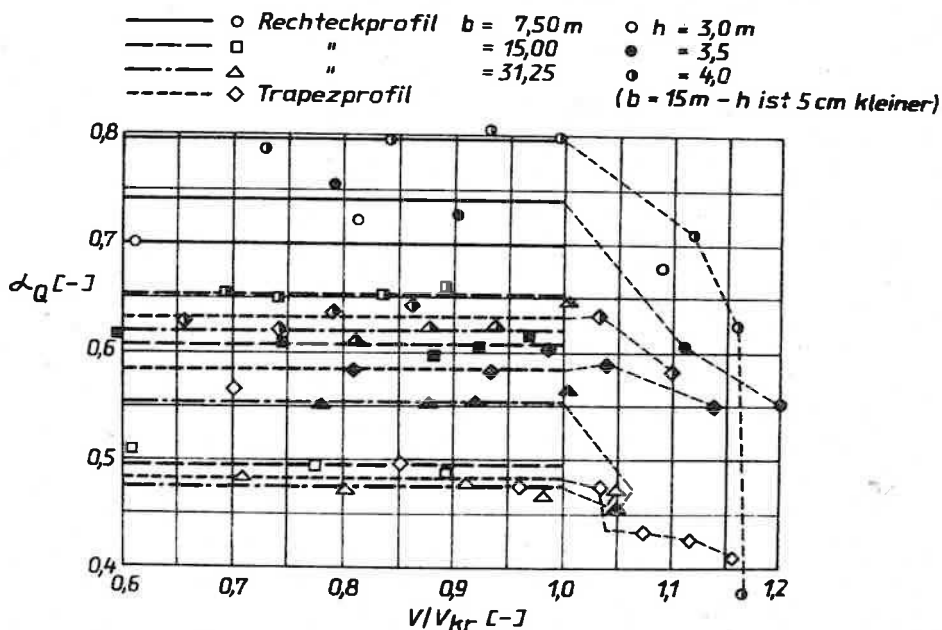


Abb. I.3: Durchflußbilanz der Verdrängungsströmung unter dem Schiff für den Fall der Schleppfahrt

$$\alpha_Q = \frac{V + V_{RB}}{V} \cdot \frac{h - (T + \Delta T_H)}{h} \quad (\text{I.5})$$

als Funktion der mit der theoretischen Geschwindigkeit (7) relativierten Fahrgeschwindigkeit im Geschwindigkeitsbereich $0,6 \leq V/V_{kr} \leq 1,2$ ausgewertet. Das Durchflußverhältnis $\alpha_Q = f(V/V_{kr})$ zeigt danach im Bereich $V/V_{kr} \leq 1$ einen geschwindigkeitsunabhängigen Verlauf. Nach Überschreiten der kritischen Geschwindigkeitsgrenze wird ein mit wachsendem V/V_{kr} stetig sinkender relativer Anteil des Zuflusses unter dem Schiff abgeführt.

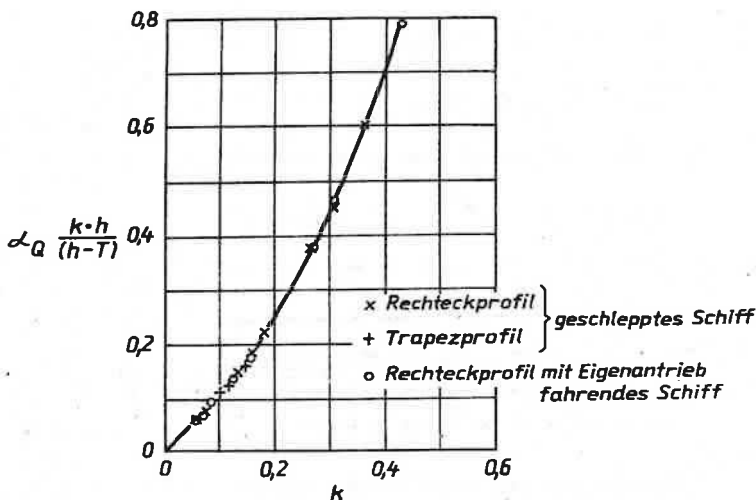


Abb. I.4: Abflußverhältnis der Verdrängungsströmung unter dem Schiff

Auf Grund der Invarianz von α_Q bei $V/V_{kr} \leq 1$ ergibt sich die Möglichkeit, das Abflußverhältnis in diesem Geschwindigkeitsbereich lediglich in Abhängigkeit von den Fahrwasserquerschnittsparametern zu berechnen. Es gilt in Abhängigkeit vom reziproken Querschnittsverhältnis ($k = 1/n$) die Beziehung

$$\alpha_Q \cdot \frac{k \cdot h}{h - T} = 1,11 \cdot k + 5,25 \cdot k^{3,20} \quad (I.6)$$

bzw.

$$\alpha_Q = \frac{h - T}{h} (1,11 + 5,25 \cdot k^{2,20}) \quad (I.7)$$

/ 27 / / 29 /.

Der durch das Polynom (I.6) charakterisierte Zusammenhang $\alpha_Q (k \cdot h)/(h - T)$ wird gemäß Abb. I.4 auch für den Fall des freifahrenden Schiffes voll bestätigt. Bedingt durch den infolge des Schraubensogs erzeugten Anstieg der Rückstromgeschwindigkeit (s. Gleichung (11)) wird die kritische Geschwindigkeit und damit der Beginn des Abfalls der α_Q - Werte früher erreicht / 27 /.

Die entsprechende Vorverlegung der kritischen Geschwindigkeitsgrenze ergibt sich unter Bezug auf (7) über den Ansatz:

$$V_{kr p} = C_p \cdot V_{kr} \quad (I.8)$$

wobei nach / 28 / für den Propulsionseinfluß

$$\begin{aligned} C_p &= 0,92 \text{ für } n \leq 6 \\ &= 0,95 \text{ für } 6 \leq n \leq 15 \\ &= 1,00 \text{ für } n \geq 15 \end{aligned}$$

anzusetzen ist / 28 /. Aus der Analyse der Durchflußbilanz unter dem freifahrenden Schiff ergibt sich ein etwas stärkerer Einfluß der Propulsion auf die kritische Geschwindigkeit / 27 /.

I.4. Schlußfolgerungen

Die Untersuchung der Durchflußbilanz der Verdrängungsströmung weist den freibleibenden Querschnitt unter dem Schiff als den für den Beginn des instationären kritischen Geschwindigkeitsgebietes und damit die charakteristischen hydraulischen Erscheinungen des Kanaleffektes maßgebenden "wirksamen" Querschnittsbereich aus. Das Erreichen der den Grenzzustand der Leistungsfähigkeit dieses Teilquerschnittes für die Abführung des vom Schiff verdrängten Wassers kennzeichnenden kritischen Fahrgeschwindigkeit V_{kr} wird in dem in Binnenschiff-fahrtskanälen auftretenden Querschnittsverhältnissbereich $n \leq 8$ exakt durch die theoretische Grenzgeschwindigkeit (7)

beschrieben. Es erscheint deswegen unzweckmäßig, sie durch lediglich empirisch begründete Ansätze zu ersetzen.

In der weiterführenden Analyse der Durchflußbilanzverteilung ist ein erfolgversprechender Lösungsweg zum Ausbau der Theorie des Kanaleffektes zu sehen.

Anhang II

Beeinflussung des Widerstandverhaltens und des Kraftstoffverbrauchs von Schub- verbänden durch Fahrwasserunregelmäßig- keiten in Kanälen

II.1. Rauigkeitseffekte des Ausbau- bzw. Unterhaltungszu- standes einer Wasserstraße

Das Problem der Widerstandsbeeinflussung durch aus dem Ausbau- und Unterhaltungszustand der Wasserstraßen resultierende Rauigkeitsparameter hat, obwohl es neben der Fahrwassergrößen- und Querschnittsgestaltung einen weiteren Hauptaspekt der unmittelbaren Beeinflussung der Schifffahrt, d. h. von Widerstandsverhalten und Energieeinsatz, durch den Wasserbau dargestellt, bislang wenig Beachtung gefunden. Es gewinnt jedoch unter der gegebenen ökonomischen Bedingungen (s. Abschnitt 1) als "Qualitätskriterium" der Wasserstraßenunterhaltung wachsende praktische Bedeutung.

Die Kanalbettrauhigkeit eines Regelprofils wird

1. durch die aus der Struktur des als Deckschicht eingebrachten bzw. anstehenden natürlichen Sohlen- und Böschungsmaterials vorhandenen Mikrorauhigkeiten und
2. durch aus der partiellen und unregelmäßigen Umbildung des ursprünglichen Profils als Folge der hydrodynamischen und z. T. durch mechanische Beanspruchungen der Fahrwasserbearbeitungen durch den Schiffsverkehr sowie auch als Folge von Baumaßnahmen entstehende Makrorauhigkeiten

bestimmt. Während die Mikrorauhigkeit als an die Art der Deckschichtausbildung gebundener Parameter sich aus den o. a. Gründen der beschränkten Ausbaumöglichkeiten der Binnenwasserstraßen einer grundlegenden Veränderung gegenüber dem jetzigen Zustand entzieht, kann im Rahmen laufender Unterhaltungsmaßnahmen auf die Makrorauhigkeit Einfluß genommen werden.

Makrorauigkeiten treten in Form unregelmäßiger - vorwiegend durch Böschungsumbildung entstandener - Querschnittsänderungen auf. Sie wirken sich in

- von der örtlichen Struktur der Profilumbildung, d. h. vom Grad der Querschnittsänderungen und der Verteilung der Querschnittswechsel über die Kanallängeneinheit und den daraus resultierenden unregelmäßigen Einengungen der effektiven Durchflußquerschnitte abhängigen querschnitts- und ablösungsbedingten Widerstandserhöhungen sowie
- weiteren Widerstandssteigerungen infolge der - bezogen auf das fahrende Schiff - nicht mehr stationären Strömungsverhältnisse (Verdrängungsströmung, Wellenbildung und Tauchungsverhalten)

aus. Quantitative Aussagen zu diesen hydrodynamischen Effekten können bisher nur sehr grob auf der Grundlage von Überlegungen zu den Durchflußverhältnissen in Gerinnen mit plötzlichem Querschnittswechsel unter Abschätzung der auftretenden Ablösungseffekte getroffen werden. Ihre Aussagekraft genügt, da die spezifischen Erscheinungen des Kanaleffektes unter den o. g. Randbedingungen nur ungenügend Berücksichtigung finden, nicht den an eine exakte Beurteilung der Auswirkungen auf das Widerstandsverhalten und den Energieeinsatz zu stellenden Anforderungen / 65 /.

II.2. Beziehungen zwischen Widerstandsverhalten, Kraftstoffverbrauch und Makrorauigkeitsparametern des Fahrwassers

Die Auswirkungen der als Fahrwasserunregelmäßigkeiten vorhandenen Makrorauigkeiten auf den DK-Einsatz machen sich unter Bezug auf den Kraftstoffverbrauch pro gefahrenen Kilometer im (ausgebauten bzw. instandgesetzten) Regelprofil

$$B_{SR} = \frac{B}{S} = b_e \cdot \frac{R}{75 \cdot \eta_m \cdot \eta_o} \quad (II.1)$$

(b_e - spezifischer Kraftstoffverbrauch / kg/(PS · h) /;
 R - Schiffswiderstand / kg /, η_m - Wirkungsgrad der Maschine,
 η_o - Propulsionsgütegrad; s. Gleichung (21)) in der Kraftstoffverbrauchssteigerung

$$\Delta B = B_S - B_{SR} \quad (II.2)$$

(B_S - Kraftstoffverbrauch im makrorauen Profil / kg/km /) bemerkbar. Wird der Widerstand im rauhen Profil in den Anteil bei der Fahrt im Regelprofil R_R und die rauhigkeitsbedingte Erhöhung ΔR zerlegt, so gilt für den Kraftstoffverbrauch bei der Fahrt im veränderlichen Profil:

$$B_S = B_{SR} + \Delta B = b_e \frac{R_R + \Delta R}{75 \cdot \eta_m \cdot \eta_o} \quad (II.3)$$

Aus der Einführung der im Abschnitt 3.2.1. angegebenen repräsentativen Werte für den spezifischen Kraftstoffverbrauch von Binnenschiffen ($b_e = 0,17$ kg/(PS · h)) und dem Maschinenwirkungsgrad ($\eta_m = 0,95$) nach / 14 / folgt:

$$B_S \cdot \left(1 + \frac{B}{B_{SR}}\right) = \frac{2,368 \cdot 10^{-3}}{\eta_o} \cdot \left(R_R + \frac{\Delta R}{\beta\eta}\right) \quad (II.4)$$

Darin erfaßt der Faktor $\beta\eta = \eta_o/\eta_o$, $\Delta R < 1$ die Beeinflussung der Propulsionsgüteeigenschaften durch Makrorauhigkeitseffekte (η_o , ΔR - Propulsionsgüte im makrorauen Profil).

Die bei Überschlagsrechnungen übliche Annahme eines konstanten Propulsionsgütewertes $\eta_o = 0,5$ (s. 3.2.1.) stellt eine sehr grobe Näherung dar. Der Propulsionsgütegrad unterliegt unter den Bedingungen der Kanalfahrt komplizierten Abhängigkeiten vom Grad der Fahrwasserbeschränkungen bzw. Querschnittsverhältnis und der Fahrgeschwindigkeit des Schiffes, deren Ursachen in sich bisher einer exakten Berechnung entziehenden komplexen Zusammenhängen der Flachwasserbeeinflussung der Zustromverhältnisse zum Propulsionsorgan liegen. Der in Abb.

II.1 unter Bezug auf / 14 / dargestellten Abschätzung der Beziehungen $\eta_o = f(n, V)$ für den Schiffstyp "Johann Welker" ist insbesondere bei kleinen Querschnittsverhältnissen eine mit wachsender Fahrwasserbeschränkung und steigender Schiffsgeschwindigkeit zu verzeichnende rapide Verschlechterung der Propulsionsguteigenschaften zu entnehmen, die gemäß Gleichung (II.4) entsprechende Kraftstoffverbrauchssteigerungen bewirken und bei den zu betrachtenden Fahrwasserverhältnissen des bestehenden Kanalnetzes Berücksichtigung finden müssen. Die Annahme des o. g. konstanten Propulsionsgütegrades ist nach Abb. II.1 streng nur bei $n \approx 5$ im Geschwindigkeitsbereich bis ca. 90 % der kritischen Geschwindigkeit haltbar.

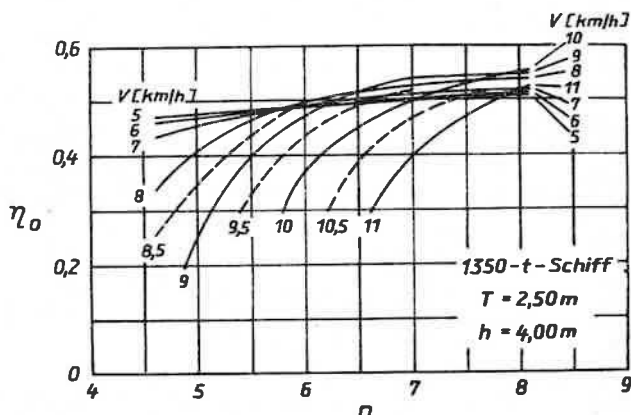


Abb. II.1: Querschnitts- und Geschwindigkeitsabhängigkeit des Propulsionsgütegrades eines 1350 t-Schiffes / 14 /

Für die in den Kraftstoffverbrauchsansatz (II.4) eingehenden Widerstandsanteile R_R und ΔR ergibt sich unter Zugrundelegung der GEBERS-Formel (22) in Verbindung mit dem Ansatz der Kontinuitätsbeziehung (4) in der Form $V = \alpha' \cdot V_R$ (mit $\alpha' = (A_M + b \cdot \Delta h) / (A - A_M - b \cdot \Delta h)$, s. Abschnitt 3.1.2.2.1.) und den Voraussetzungen der Annahme einer vorgegebenen Schiffsform (d. h. $(K' \cdot A_M + \lambda \cdot A_S) = C = \text{const}$, s. unter

3.2.1.) sowie einer im makrorauen Kanalprofil gefahrenen konstanten Geschwindigkeit:

$$R_R = C \cdot (1 + \alpha'_{SR}) \cdot V^{2,25} \quad (II.5)$$

$$R = C \cdot (\alpha'_S - \alpha'_{SR}) \cdot V^{2,25} \quad (II.6)$$

(α'_S, α'_{SR} - Querschnittsfaktor im makrorauen Profil und im Regelprofil). Aus (II.4) wird damit erhalten:

$$B_{SR} \cdot \left(1 + \frac{\Delta B}{B_{SR}}\right) = \frac{2,386 \cdot 10^{-3}}{\eta_0} \cdot C \cdot V^{2,25} \left[1 + \frac{1}{\beta \eta} \left(\frac{1 + \alpha'_S}{1 + \alpha'_{SR}} - 1\right)\right] \quad (II.7)$$

Die Klammerausdrücke auf beiden Seiten der Beziehung (10) stellen den unmittelbaren Zusammenhang zwischen der DK-Verbrauchssteigerung pro gefahrenen Kilometer und der Veränderung der hydraulischen Parameter Verdrängungsströmung, Schiffswellenbildung und Propulsionseigenschaften im makrorauen gegenüber dem ausgebauten bzw. instandgesetzten Regelprofil her.

Im Verhältnis α'_S / α'_{SR} stecken als das Widerstandsverhalten beeinflussende Faktoren neben

- der durch die Kontinuitätsbeziehung erfaßten Auswirkungen der reinen Querschnittseinengung A_S des umgebildeten (makrorauen Profils) gegenüber dem Regelprofilquerschnitt A_{SR} auf die Verdrängungsströmung

als weitere Einflüsse

- die durch hydrodynamische Verluste bedingte Verringerung des effektiven Durchflußquerschnittes sowie
- die Auswirkungen des infolge des ständigen Querschnittswechsels nicht mehr stationären Zustandes der Verdrängungsströmung.

Die zuletzt genannten Effekte sind in dem Ansatz der Kontinuitätsbeziehung nicht berücksichtigt. Es kann somit davon ausgegangen werden, daß quantitative Abschätzungen der durch Makrorauigkeiten entstehenden Kraftstoffverbrauchssteigerungen nach (II.7) lediglich die untere Grenze der tatsächlichen Beeinflussung des DK - Einsatzes ergeben.

II.3. Quantitative Abschätzung der Widerstands- und Kraftstoffverbrauchssteigerung von Schubverbänden

Die Anwendung des Kraftstoffverbrauchsansatzes (II.7), der hinsichtlich der Form- und Reibungsbeiwerte gemäß 3.2.1. / 63 / eine nur sehr große Differenzierung unterschiedlicher Schiffssparameter gestattet, auf Schubverbände macht wegen der erheblich abweichenden Formparameter gegenüber Kähnen bzw. Motorgüterschiffen die Überprüfung der Anwendbarkeit der GEBERSschen Formel auf die Widerstandsberechnung erforderlich. Ausgangsmaterial hierfür liefern in / II.1 / für Schubprähme und -verbände mit nur unwesentlichen Abweichungen der Hauptabmessungen und Formeigenschaften von den jetzigen Regeltypen vorliegende Ergebnisse systematischer Modelluntersuchungen.

Das in der zitierten Quelle nur in der Darstellung als Ausgleichskurven $R = f(V)$ verfügbare Widerstandsdatenmaterial ist in Abb. II.2 als äquidistante Meßpunktauftragung ausgewertet und unter Zugrundelegung der nach (22) bestehenden Abhängigkeit von der Geschwindigkeitspotenz $V^{2,25}$ erneut graphisch ausgeglichen. Der Ausgleich weist für den Geschwindigkeitsbereich $V = 4$ km/h die Übertragbarkeit der GEBERSschen Formel auf Schubverbände aus.

Nach zum Widerstandsverhalten von Schubverbänden vorliegenden Literaturdaten / 44 / / II.2 / muß von der Voraussetzung ausgegangen werden, daß der Formfaktor

$$K' = \frac{1}{A_M} \left[\frac{R}{(V + V_R)^{2,25}} - \lambda \cdot A_S \right] \quad (II.8)$$

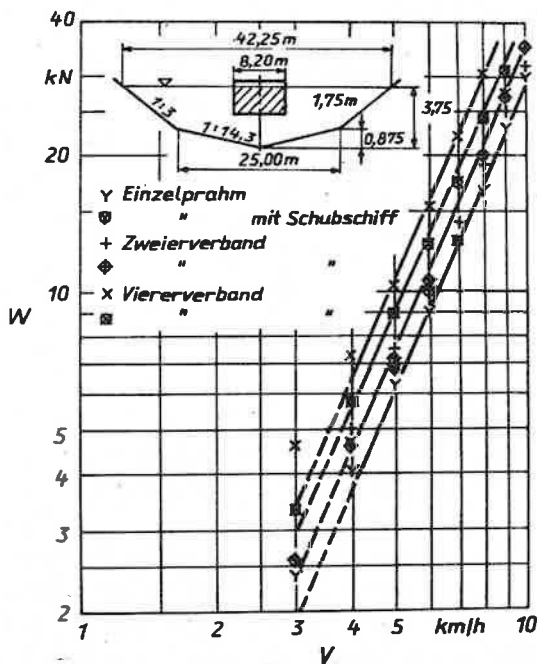


Abb. II.2: Ergebnisse von Widerstandsmessungen Schubprähmen und Schubverbänden unterschiedlicher Zusammenstellung

in Gleichung (22) (s. Abschnitt 3.2.1.) eine Funktion des Längen-/Breitenverhältnisses L/B des Verbandes ist. Dieser Zusammenhang findet seine Bestätigung durch das Diagramm der Abb. II.3, in dem unter der Voraussetzung eines Reibungsbeiwertes von $\lambda = 0,14$ (Stahlschiff mit gutem Anstrich) die Beziehungen $K' = f(L/D)$ nach den Widerstandsfunktionen $R = f(V)$ gemäß Abb. II.2 ausgewertet sind. Die Darstellung trägt auf Grund von Unsicherheiten bezüglich der Bewertung der benutzten Ausgangsdaten Näherungscharakter, wird jedoch - wie der eingetragene Vergleichswert zeigt - durch Aussagen in / 44 / gestützt.

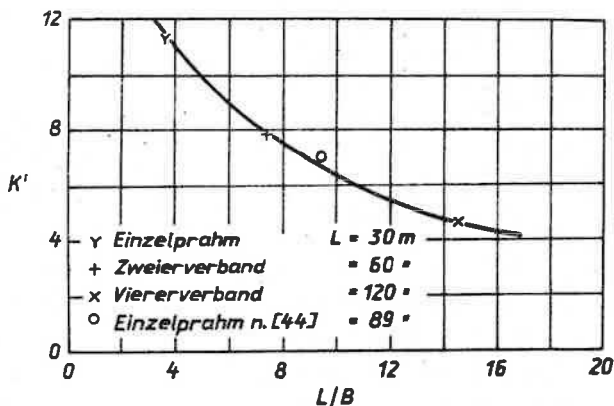


Abb. II.3: Formfaktor $K' = f(L/B)$ der GEBERSschen Formel für Schubverbände (Abschätzung)

Unter Berücksichtigung der behandelten spezifischen Formparameterabhängigkeiten können - ausgehend von Ist-Profildaten eines Bezugsprofils - unter Vorgabe prozentualer Querschnittseinengungen, die in Anlehnung an die durch engabständige Profilpeilungen zu ermittelnden tatsächlichen Fahrwasserunregelmäßigkeiten (Makrorauigkeiten) zu wählen sind, die eintretenden Widerstandserhöhungen von Schubverbänden berechnet werden. Die über diese rein querschnitts- bzw. einengungsbedingten Widerstandsanstiege hinaus durch Querschnittsänderungsverluste und Instationarität der Verdrängungsströmung, Wellenbildung und Tauchungsverhalten des Schiffes (s. Abschnitt UU.1) entstehenden widerstandserhöhenden Makrorauigkeitseffekte lassen sich nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand zunächst nur durch auf den geometrischen Einengungsgrad der Profilunregelmäßigkeit bezogene querschnittsabhängige Widerstandszuschläge abschätzen.

Ein für die Scheitelhaltung eines Binnenschiffahrtskanals mit einem Querschnittsverhältnis von $n = 4,21$ für einen Vierer-Schubverband ($L = 130$ m, $B = 8,2$ m, $T = 2,0$ m) unter Vernachlässigung des Schubschiffs erhaltenes Rechnungsbeispiel zeigt Abb. II.4.

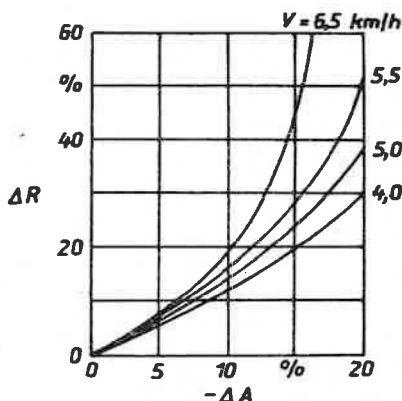


Abb. II.4: Widerstandszunahme $R = f(-\Delta A, V)$
für einen Vierer-Schubverband / 65 /

Für die betrachtete Kanalstrecke wurden aus Profilpeilungen auf kurzer Strecke Fahrwasserquerschnittsänderungen infolge Böschungsunregelmäßigkeiten von durchschnittlich $-\Delta A = 5\%$ festgestellt und der durch o. g. hydrodynamischen Makrorauigkeitseffekte erwachsende effektive Querschnittsverlust mit $0,5 \cdot \Delta A$, d. h., die "wirksame" Gesamtquerschnittseinen-gung als die maximalen Widerstandswerte bestimmende Größe mit $-\Delta A = 7,5\%$ angenommen. Unter diesen Randbedingungen resultieren in dem von Schubverbänden gefahrenen Geschwindigkeitsbereich von $V = 4 \dots 6$ km/h aus dem Makrorauigkeitseinfluß die bereits unter 3.2.1. genannten Widerstands-anstiege von $\Delta R \approx 9 \dots 12\%$. Ihnen entsprechen nach dem Kraftstoffverbrauchsansatz (II.7) bei Annahme des Faktors der Verschlechterung des Propulsionsgütegrades infolge Querschnittseinen-gung mit $\beta_\eta = 0,9$ DK-Verbrauchssteigerungen von $\Delta B \approx 10 \dots 13\%$ zur Fahrt im Bezugsprofil.

II.4. Schlußfolgerungen

Der als Ergebnis der vorliegenden Abschätzung des Gesamtwiderstandsverhaltens im unregelmäßigen Fahrwasser erhaltene Betrag der über wasserbauliche Unterhaltungsmaßnahmen durch

Wiederherstellung durchgehender Regelprofile erreichbaren Kraftstoffverbrauchsreduzierung stellt - auch unter Berücksichtigung einer durch Unsicherheiten in den Berechnungsannahmen bedingten möglichen Verringerung der realen Einsparung - einen wesentlichen Faktor bei Betrachtungen zur Erschließung von Energiereserven dar. Seine weitere Präzisierung steht deswegen im Mittelpunkt derzeitig laufender verkehrswasserbaulicher Forschungsprogramme / 65 /.

Die exakte quantitative Analyse der durch Makrorauigkeitseffekte verursachten Widerstands- und Kraftstoffverbrauchssteigerungen setzt die Untersuchung der Auswirkungen der durch Querschnittseffekte, Verlustgrößen und instationäre Einflüsse eintretenden Beeinflussungen von Verdrängungsströmung, Wellenbildung und Tauchungsverhalten auf die einzelnen Widerstandskomponenten voraus. Untersuchungsergebnisse hierzu stehen bisher nur im Ansatz für konstante Querschnittsbedingungen zur Verfügung / II.2 /.

Anhang III

Erhöhung der schiffahrtsbedingten hydraulischen Böschungsbeanspruchung an Kanälen durch außermittige Kurswege und in Kanalkrümmungen

III.1. Problemstellung

Die Beurteilung der hydraulischen Belastung von Kanalböschungen durch den Schiffswellenangriff beschränkt sich nach der üblichen Bemessungspraxis auf die Betrachtung des Idealfalls der Fahrt eines Schiffes entlang der Kanalachse in einer Geraden, geht also lediglich von der Voraussetzung symmetrischer Strömungszustände aus und vernachlässigt sowohl die Erhöhung der Böschungsbeanspruchung bei außermittiger Fahrweise als auch in Kanalkrümmungen. Beide Faktoren gewinnen unter den Bedingungen des realen Schiffahrtsbetriebes - insbesondere hinsichtlich des Verkehrs langer Schubverbände auf Wasserstraßen mit engen Fahrwasserquerschnitten und bei häufigen Schiffsbegegnungen - erhebliche Bedeutung in ihren Auswirkungen auf die Wasserstraßenunterhaltung. Ihre quantitative Erfassung stellt eine vorrangige Aufgabe dar.

Die in den Abschnitten 3.4.2.2. und 3.1.2.2.2. entwickelten Bemessungsgrundlagen für die Dimensionierung von Schüttsteindeckwerken gestatten die Realisierung der o. g. Forderung für diese an den Binnenwasserstraßen der DDR vorherrschende Standardbauweise der Böschungssicherung / III.1 /. Sie wurden in dem unter 3.4.2.2. bereits angeführten Anwendungsfall für den stark belasteten Scheitelhaltungsabschnitt eines Binnenschiffahrtskanals zur Beurteilung der Auswirkungen der Einführung eines fahrplanmäßigen Einrichtungsverkehrs auf die Böschungsbelastung angewandt und können darüberhinaus als eine der erforderlichen Grundlagen für die Entwicklung strategischer Modelle zur Beurteilung der Aufwendungen für die Wasserstraßenunterhaltung, z. B. im Sinne von in / III.2 /

angestellten Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Uferdeckwerken, dienen.

III.2. Grundbeziehungen zwischen Kurswegaußermittigkeit, Driftwinkel und hydraulischer Böschungsbeanspruchung

Der Anstieg der Böschungsbeanspruchung bei außermittiger Fahrweise und in Kanalkrümmungen entsteht im Betriebsfall Normalfahrt nach den ausgewiesenen Beziehungen aus Erhöhungen der belastenden Wellenhöhe und Vorverlegungen der kritischen Geschwindigkeitsgrenze als Folge

- des Außermittigkeitsgrades des Kursweges sowie
- des aus der Bedingung des Kräfte- und Momentengleichgewichtes der gesteuerten kursstabilen Bewegung des Schiffes bzw. starren Verbandes jeweils resultierenden Driftwinkels.

Die sich aus diesen Einflußgrößen ergebenden quantitativen Zusammenhänge sind in Abb. III.1 für die repräsentativen Ist-Fahrwasserverhältnisse (Sohlenbreite $b_s = 14,7$ m, Böschungneigungen $1 : 3$, Wassertiefe $h = 2,55$ m) des ca. 21,5 km langen engsten Teilabschnitts des o. a. untersuchten Binnenschiffahrtskanals (Gesamtlänge der Scheitelhaltung 47,8 km) in ihrer Zuordnung in Form der Beziehungen $H_G, d_{50 \text{ erf}} = f(V, 2y/b_s, \beta)$ für einen Viererschubverband ($L = 155,65$ m, $B = 8,2$ m, $T = 2,0$ m) dargestellt. Den ausgewiesenen Steindurchmessern entspricht unter der Annahme kugelförmigen Steinmaterials gemäß Gleichung (34) das zugehörige Steingewicht

$$W_{50 \text{ erf.}} = 0,523 \cdot \frac{\rho_s \cdot H_G^3}{B \cdot \frac{3}{B} \left(\frac{\rho_s}{\rho_0} - 1 \right) \cdot m} \quad (\text{III.1}),$$

das sich für die vorliegenden konkreten Bedingungen mit dem Böschungsbemessungsstandsicherheitsbeiwert $B_B^I = 1,05$ und Granit ($\rho_s = 2,65 \text{ t/m}^3$) nach dem einfachen Ansatz

$$W_{50 \text{ erf.}} = 88,97 \cdot H^3 \quad (\text{III.2})$$

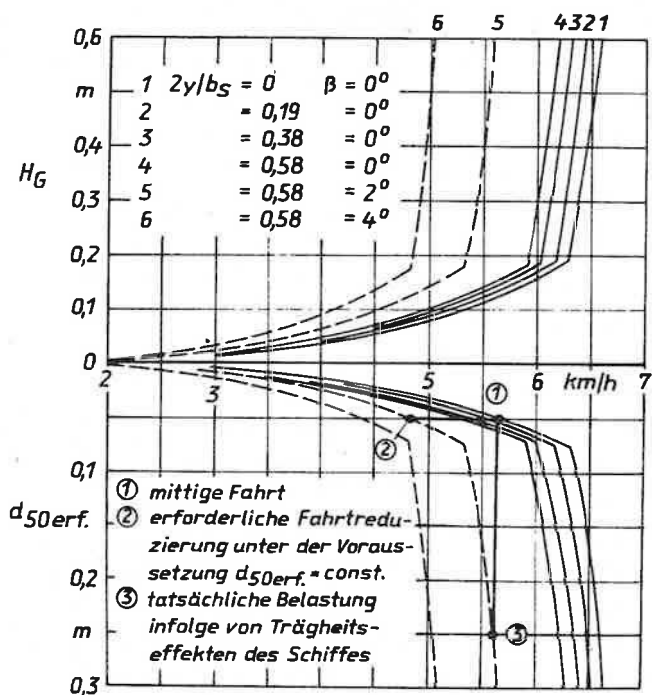


Abb. III.1: Wellenhöhenbelastungen durch einen Viererschubverband und erforderliche Befestigungssteingrößen eines Böschungsdeckwerkes

errechnet und aus auswertungstechnischen Gründen den angestellten quantitativen Vergleichen zugrunde gelegt worden ist.

Aus dem Diagramm, das sich hinsichtlich der Eingangsvariablen Kurswegaußermittigkeit und Driftwinkel zunächst auf Annahmen stützt, also noch nicht die gegenseitige dynamische Abhängigkeit beider Größen erfaßt werden als allgemeine Tendenzen der

Böschungsbelastung durch das Schiffswellensystem

- ein allmähliches Anwachsen der erforderlichen Befestigungssteingrößen auf verhältnismäßig kleine Absolutwerte unter den Beanspruchungsbedingungen im unterkritischen Geschwindigkeitsgebiet, gefolgt von einer extremen Zunahme unter den Belastungsbedingungen im kritischen Geschwindigkeitsgebiet
- der Anstieg der Böschungsbelastung bzw. der erforderlichen Schüttsteingröße $d_{50 \text{ erf.}}$ ($W_{50 \text{ erf.}}$) mit zunehmender Kurswegaußermittigkeit (Kurven 1 bis 4) und
- der sehr starke Einfluß des Driftwinkels auf die Böschungsbeanspruchung (Kurven 4 bis 6), der wesentlich größer ist als die Auswirkungen der reinen Kurswegverschiebung ersichtlich.

Entscheidend für die Entwicklung der tatsächlichen Böschungsbelastung sind nach den erhaltenen quantitativen Beziehungen die mit den Kursweg- und Driftwinkeländerungen eintretenden Vorverlegungen der kritischen Geschwindigkeitsgrenze. Wird beispielsweise der in der Praxis auf freien Kanalstrecken stets angestrebte mittige Kursweg gefahren, so liegt gemäß Abb. III.1 - bei im vorliegenden Fall eingebauten Deckschichtmaterial von 0,15 ... 0,20 m Kantenlänge - der induzierte Böschungsangriff auch unter Berücksichtigung der Einflüsse unterschiedlicher Lagestabilitäten zwischen der "Berechnungssteinform" und der vorhandenen in dem durch die Befestigungssteingröße bei ordnungsgemäßer Ausführung der Deckwerke theoretisch ausreichend gesicherten Bereich. Bei notwendigen Kurswegänderungen zu außermittigen Fahrweisen (z. B. bei Begegnungen) kann im Sinne des in das Diagramm eingetragenen schematischen Beispiels auf Grund von Trägheitseffekten die Schiffsgeschwindigkeit nicht auf das der neuen Kurswegsituation angemessene Maß herabgesetzt werden. Es entstehen dann bei höheren Fahrgeschwindigkeiten instationäre Übergangssituationen, in denen zeitweilig extrem hohe Böschungsbelastungen auftreten. Die diese Situationen auslösenden

Schiffsgeschwindigkeiten liegen für den betrachteten Kanalabschnitt vom im Bereich der zugelassenen Fahrgeschwindigkeiten.

III.3. Einführung des spezifischen Kursweg- und Driftwinkelverhaltens

Voraussetzung für die Ableitung der durch den realen Schiffsverkehr auf einer Wasserstraße verursachten Böschungsbelastungsverhältnisse aus den dargestellten Grundbeziehungen H_G ; $d_{50 \text{ erf.}}$ ($W_{50 \text{ erf.}}$) = $f(V, 2y/b_s, \beta)$ ist die Kenntnis der spezifischen Verkehrssituationen auf Kanalstreckenabschnitten wie Begegnungen bzw. den Zweirichtungsverkehr oder Krümmungsdurchfahrten kennzeichnenden durchschnittlichen Kursweg- und Driftwinkelverhaltens. Angaben hierzu werden am zuverlässigsten aus fahrdynamischen Versuchen gewonnen, stehen jedoch nur in beschränktem Umfang und nicht verallgemeinerungsfähiger Form zumeist nur als Einzeluntersuchungen auf speziellen Wasserstraßenabschnitten zur Verfügung (s. / 41 / / 82 / / 83 / / III.3 / / III.4 /).

Wird von der Einführung des begegnungslosen Einrichtungsverkehr als Alternative zu dem auf Binnenschiffahrtskanälen üblichen Zweirichtungsverkehr und Möglichkeit zur Vergrößerung der Verbandslängen von Schubverbänden auf Wasserstraßen mit engen Fahrwasserquerschnitten ausgegangen, so ergeben sich als hinsichtlich des Böschungsangriffs zu vergleichende spezifische Verkehrssituationen:

1. der Idealfall der mittigen Fahrt eines Schiffes bzw. Schubverbandes auf einer geraden Kanalstrecke mit symmetrischem Regelprofil als Bezugsfall der minimalen Böschungsbeanspruchung beim Einrichtungsverkehr,
2. die Begegnung auf einer geraden Kanalstrecke als charakteristische Böschungsbelastungssituation des Zweirichtungsverkehrs und
3. die Krümmungsdurchfahrt ohne Schiffsbegegnung als auf

Grund der beengten Fahrwasserverhältnisse einzig praktizierbare Verkehrsweise auch unter den Bedingungen des Zweirichtungsverkehrs.

Als fahrdynamische Ausgangsdaten sind somit das Außermittigkeits- und Driftwinkelverhalten des Zweirichtungsverkehrs auf geraden Kanalabschnitten sowie der Krümmungsdurchfahrt im Einrichtungsverkehr zu erfassen, wobei zunächst die Definition der charakteristischen Belastungsbedingungen der Begegnungsphase auf der Geraden erfolgen muß. Sie können nach Ergebnissen fahrdynamischer Naturversuche mit Großschubverbänden / III.5 / durch die in der Beschleunigungsphase nach Abschluß des Begegnungsvorganges eingenommenen und über eine längere Fahrtstrecke beibehaltenen Außermittigkeitsgrade und Driftwinkel beschrieben werden.

Analysen des fahrdynamischen Verhaltens weisen für die Kurswegaußermittigkeit in beiden zu betrachtenden Fällen unregelmäßige Streuungen aus, die in keinem gesetzmäßigen Zusammenhang zur Schiffsgeschwindigkeit stehen. Der Außermittigkeitsgrad kann daher als Mittelwert eingeführt werden. Er beträgt für die repräsentativen Fahrwasserverhältnisse gemäß Abb. III.1 für Begegnungen und Krümmungsdurchfahrten von Viererschubverbänden $2y/b_s = 0,29$ bzw. $2y/b_s = 0,17$ / 118 /.

Im Gegensatz zum Außermittigkeitsverhalten zeigt der Driftwinkel eine sehr straffe Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit. Dies gilt nach Abb. III.2 sowohl für die Beschleunigungsphase nach der Begegnung auf gerader Kanalstrecke als auch für die Krümmungsdurchfahrt im Einrichtungsverkehr. Die Auswertung der Driftwinkelabhängigkeit von der mit dem theoretischen Wert der kritischen Geschwindigkeitsgrenze (s. Gleichung (7)) dimensionslos gemachten Schiffsgeschwindigkeit V/V_{kr} belegt einen quadratischen Zusammenhang des Typs

$$\beta = C_{G,R} \cdot \left(\frac{V}{V_{kr}} \right)^2 \quad (\text{III.3}),$$

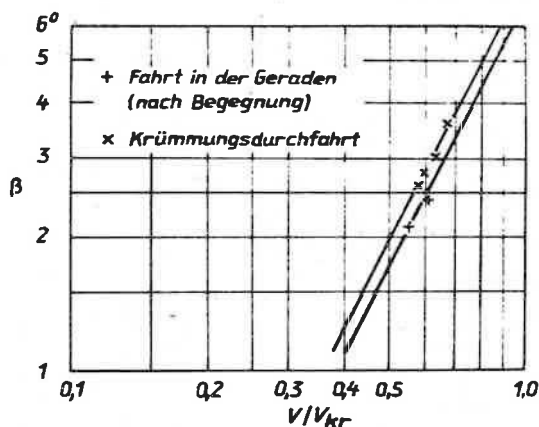


Abb. III.2: Geschwindigkeitsabhängigkeit des Driftwinkels nach fahrdynamischen Versuchen mit Vierer-Schubverbänden

in dem C_G und C_R Beiwerte darstellen, die für die Fahrt in der Geraden bzw. für die Krümmungsdurchfahrt implizit die Einflüsse der Manöviereigenschaften des Schiffes, der Fahrwasserparameter und der Reaktionen des Schiffsführers enthalten. Für die gemäß Abb. III.2 untersuchten Verhältnisse ergibt sich $C_G = 6,8$ und $C_R = 7,8$.

Der durch den Ansatz (III.3) beschriebene Zusammenhang der auf der Grundlage eines sehr begrenzten verfügbaren Meßdatensmaterials (Abb. III.2) abgeleitet wurde, gilt nach zur Absicherung der o. g. Aussagen angestellten Vergleichsuntersuchungen zum Driftwinkelverhalten bei Krümmungsdurchfahrten von Schubverbänden und Motorgüterschiffen auf der Grundlage von in / III.2 / und / III.4 / vorliegenden Meßergebnissen ganz allgemein / 118 /. Zur generellen Erfassung des Problems unter Berücksichtigung von Faktoren wie des umgekehrt proportional in (III.3) eingehenden Bahnradius (Krümmungsradius) sind weiterführende Untersuchungen erforderlich.

III.4. Quantitative Abschätzung der Veränderungen der Böschungsbeanspruchung einer Kanalstrecke bei Einführung des Einrichtungsverkehrs

Auf der Basis der im Abschnitt III.3 als Belastungsfälle definierten spezifischen Verkehrssituationen auf einer vorhandenen Kanalstrecke mit ungünstigen Fahrwasserbedingungen und den dafür erhaltenen Aussagen zum Kursweg- und Driftwinkelverhalten lassen sich die jeweils benötigten Schüttsteingewichte W_{50} erf. nach der in Abb. III.3 schematisch dargestellten Verfahrensweise bestimmen und zu der entsprechenden Belastungssituation der mittigen Fahrt in Form der Verhältnisswerte $\alpha_{WG} = W_{GII} / W_{GI}$ (für den Zweirichtungsverkehr auf der Geraden) und $\alpha_{WR} = W_{RI} / W_{GI}$ (für Krümmungsdurchfahrten ohne Begegnung) in Beziehung setzen.

Die als Gesamtergebnis dieser Analyse für die drei Teilabschnitte der betrachteten Scheitelhaltung ermittelten Böschungsbelastungsdifferenzen zwischen Zwei- und Einrichtungsverkehr auf geraden Kanalstrecken sind - als Funktion der dimensionslosen Fahrgeschwindigkeit $\alpha_{WG} = f(V/V_{kr})$ auf-

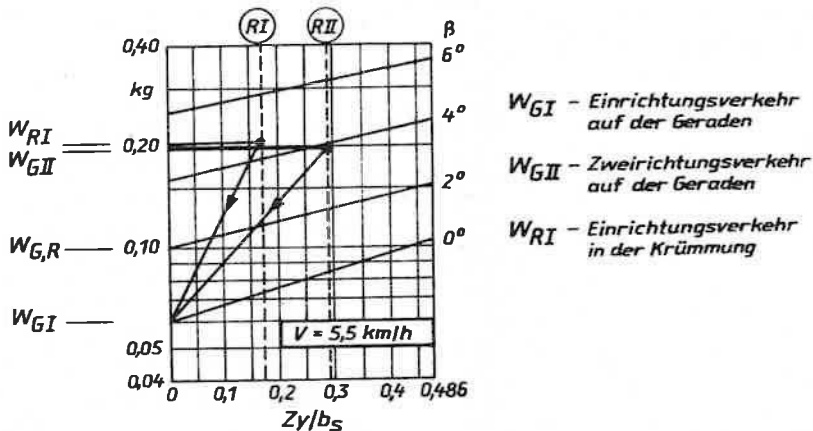


Abb. III.3: Auswertungsschema zur Ermittlung der Schüttsteingewichtsdifferenzen zwischen repräsentativen Verkehrssituationen

getragen - aus Abb. III.4 ersichtlich. Das Diagramm weist aus, daß die für die untersuchten Schiffseinheiten Motorgüterschiff, Dreier- und Vierer-Schubverband bei variablen Tiefgängen ($T = 1,60 \dots 2,00 \text{ m}$) und in unterschiedlichen Fahrwasserquerschnitten ($A = 68,98 \dots 101,03 \text{ m}^2$) erhaltenen α_{WG} sich über V/V_{kr} jeweils nach der Schiffsgröße (Schiffslänge) ordnen und in dem Geschwindigkeitsbereich

$$0,34 \leq \frac{V}{V_{kr}} \leq K \cdot \frac{V}{V_{kr}}$$

($K < 1$, Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses von Kurswegaußermittigkeit, fiktiver eintauchender Hauptspantflächenvergrößerung (Driftwinkleinfluß) und Propulsion auf die Vorverlegung der theoretischen kritischen Geschwindigkeits-

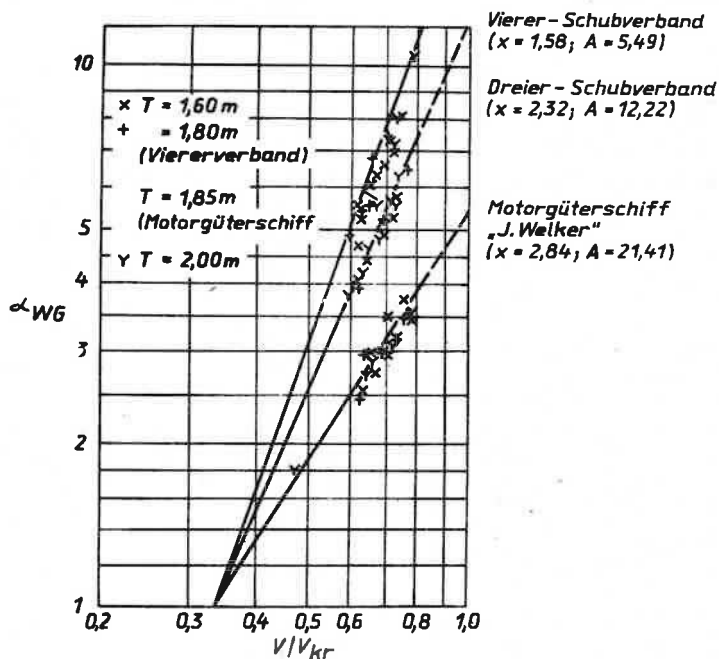


Abb. III.4: Schüttsteingewichtsverhältnis zwischen den Belastungssituationen Zwei- und Einrichtungsverkehr in der Geraden

grenze) durch Näherungsbeziehungen des Typs

$$\alpha_{WG} = \frac{W_{GII}}{W_{GI}} = A \cdot \left(\frac{V}{V_{kr}} \right)^x \quad (III.4)$$

bzw. auf die zugehörigen Schüttsteindurchmesser d_{GII}/d_{GI} bezogen

$$\alpha_{dG} = \sqrt[3]{A \cdot \left(\frac{V}{V_{kr}} \right)^x} \quad (III.5)$$

beschrieben werden können. Der Exponent x und der Beiwert A sind Funktionen der Schiffslänge und des Querschnittsverhältnisses. Ihre Beträge sind für die untersuchten Randbedingungen Abb. III.4 zu entnehmen.

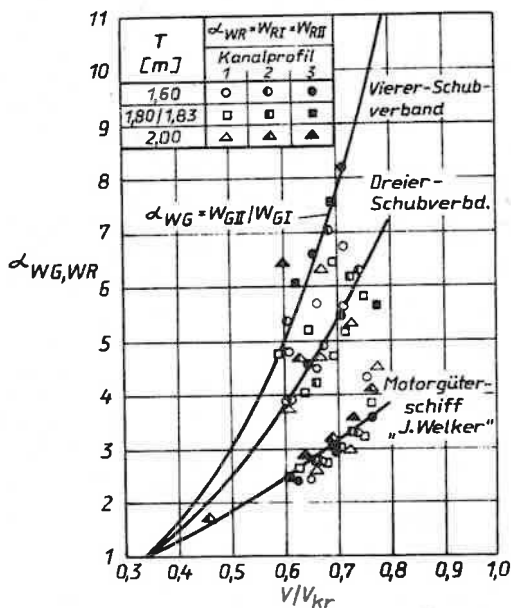


Abb. III.5: Schüttsteingewichtsverhältnis zwischen den Belastungssituationen Einrichtungsverkehr in der Krümmung und der Geraden.

Für die Böschungsbelastungsrelationen von im Einrichtungsverkehr durchfahrenen Kanalkrümmungen $\alpha_{WR} = f(V/V_{kr})$ ergeben sich gemäß Abb. III.5 für die im untersuchten Kanalabschnitt vorliegenden Fahrwasserbedingungen analoge Verhältnisse. Die in die Darstellung eingetragenen mit den in Abb. III.4 enthaltenen A- und x-Werten errechneten Ausgleichskurven $\alpha_{WG} = f(V/V_{kr})$ erfassen recht gut die Berechnungsergebnisse $\alpha_{WR} = f(V/V_{kr})$. Dies bedeutet, daß unter den jetzigen Verkehrsbedingungen die Böschungsbelastung in einer Richtung durchfahrener Krümmungen größenordnungsmäßig derjenigen einer Begegnung auf gerader Kanalstrecke gleichzusetzen ist.

III.5. Schlußfolgerungen

Mit den im vorangehenden Abschnitt behandelten Ergebnissen stehen Unterlagen zur Verfügung, die für die untersuchte Kanalstrecke für vorgegebene unterschiedliche Schiffseinheiten und Fahrgeschwindigkeiten einen quantitativen Ausweis der zwischen Ein- und Zweirichtungsverkehr zu erwartenden Böschungsbelastungsunterschiede - ausgedrückt durch das Verhältnis der erforderlichen Schüttsteingewichte α_W bzw. Steindurchmesser α_d - gestatten. Unter Zugrundelegung der nach den geltenden Verkehrsregelungen / III.6 / zugelassenen Fahrgeschwindigkeiten und Tauchtiefen ergibt sich

- für Motorgüterschiffe bei einer Abladung auf $T = 1,85$ m und einer Fahrgeschwindigkeit von $V = 6,0$ km/h eine Herabsetzung der notwendigen Schüttsteindimensionierung bei Einführung des Einrichtungsverkehrs gegenüber dem Zweirichtungsverkehr auf $1/\alpha_{WG} = 0,21$ des Steingewichtes bzw. $1/\alpha_{dG} = 0,59$ des Steindurchmessers
- für Dreier- und Viererschubverbände in dem nach den Ergebnissen der fahrdynamischen Versuchsfahrten realen Bereich der erreichbaren Fahrgeschwindigkeiten von $V \approx 4 \dots 5$ km/h entsprechende Reduzierungen auf $1/\alpha_{WG} = 0,22$ und $1/\alpha_{dG} = 0,60$ bzw. $1/\alpha_{WG} = 0,16$ und $1/\alpha_{dG} = 0,54$ (Bezugsbasis $V = 4,5$ km/h).

Insgesamt kann also davon ausgegangen werden, daß mit Ausschließung von Schiffsbegegnungen erhebliche Herabsetzungen der Böschungsbelastungen, d. h. Erhöhungen der Standsicherheit der vorhandenen Böschungssicherungen, an geraden Streckenabschnitten erreichbar ist, während an Kanalkrümmungen keine Veränderungen der bestehenden Belastungsverhältnisse eintritt.

Das entwickelte Verfahren läßt sich auf beliebige Fahrwasser und Kurswegparameter anwenden und kann somit als Grundlage für die systematische Erfassung der schiffahrtsbedingten hydraulischen Belastungen der Binnenwasserstraßen dienen.

Ergänzungsliteratur zu den Anhängen

- / I.1 / EJSNER, F.: Offene Gerinne.
In: WIEN-TAPMS: Handbuch der Experimentalphysik,
Bd. IV.4, Leipzig 1932
- / I.2 / HELM, K.: Die Zuverlässigkeit der Übertragbarkeit
von Modellversuchen auf das Schiff in der Binnen-
schifffahrt.
Schiff und Hafen, 6 (1954) 7
- / II.1 / HEISE, G.; SCHNEIDER, M.: Widerstandsmessungen
an Schubprahmmodellen.
Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt,
Wasser- und Grundbau Berlin, Schriftenreihe
Schifffahrt, H. 1 (1961)
- / II.2 / KAA, E. J. van de: Power and speed of push-tows
in canals.
Delft Hydraulics Laboratory, Publication no.
218 (1979)
- / III.1 / Richtlinie für die Bemessung und Gestaltung der
Binnenwasserstraßen der DDR.
Ministerium für Verkehrswesen, Hauptabteilung
Binnenschifffahrt und Wasserstraßen Berlin 1982
- / III.2 / KNIESS, H.-G.: Untersuchungen zum Nachweis der
Wirtschaftlichkeit von Uferdeckwerken an Wasser-
straßen.
Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau,
Nr. 52, Karlsruhe 1983
- / III.3 / SCHÄLE, E.: Die Vorteile des rechteckigen Kanal-
profils für die Großschifffahrt.
Schiff und Hafen, 28 (1976) 1
- / III.4 / SCHÄLE, E.: Untersuchung der Fahrdynamik und Be-
triebstechnik von Großmotorschiffen auf allsei-
tig beschränktem Fahrwasser.
Schiff und Hafen, 30 (1978) 5
- / III.5 / FRÖHLICH, J.: Einrichtungsverkehr am Beispiel
des Oder-Havel-Kanals.
Unveröffentlichter Forschungsbericht des VEB FAS,
Berlin 1982
- / III.6 / Anweisung über die Regelung des Verkehrs auf dem
Havelkanal und der Havel-Oder-Wasserstraße (km
10,45 bis km 92,8).
Tarif- und Verkehrsanzeiger (TVA), III Schiff-
fahrt, Nr. 52 (Sch) vom 15. Dezember 1978